

高分子複合材料の適用により高動剛性と軽量性を両立した加工送り機構の開発

野村 陸歩

杉田 直彦

Ball screw · Polymer concrete · Vibration · Receptance coupling · Functionally graded characteristics

1. 研究背景

近年、大型・複雑形状部品の高能率加工が可能なロボット加工機の需要が高まっており、特にロッドとして送り駆動の機能を兼ねるボールねじを採用した平行リンク型加工機は、その高動剛性と軽量性から注目を集めている。この加工機では、ボールねじの機械的性能が加工性能を決定する大きな要因であり、加工の高精度化には動剛性が、高効率化には軽量性が重要なパラメータとなる。先行研究として中空ボールねじにダンパシャフトを挿入し振動特性を改善した例[1]があるが、条件が限定的であることから工作機械への適用には至っていない。また、軽量性については十分な検討がされていない。そこで本研究では、平行リンク加工機の高精度化・高効率化を見据えた、高動剛性と軽量性の両方の観点からボールねじの性能向上を目指す。

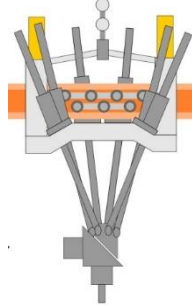


Fig. 1 Parallel link machine

2. 軸心構造提案および数値解析による設計

ボールねじの構造材料には一般的に鋼が用いられる。本研究では、ボールねじの軸芯に減衰性と軽量性に優れたポリマーコンクリート (PC 材) 及び軽量の樹脂ボールを適用した。また、樹脂ボールの配合割合を変化させることによる傾斜機能特性の付与を検討し、数値解析により軸心構造を設計した。

評価基準を共振周波数と減衰比、質量とし、数値解析にはレセプタンスカップリングという手法を用いた。この手法は要素分割と同心要素の組み合わせにより、複雑な形状についても式 (1) に示したレセプタンス行列を求めることができる。ボールねじを軸方向に3分割し軸心にそれぞれ異なる特性を有する材料を配置した傾斜機能材料モデルについて、数値解析を行い比較した (Fig. 2, Fig. 3)。密度が 1900 [kg/m³]と 1700 [kg/m³]のものをそれぞれ「大」「小」と表し、グラフの横軸は左側から付与した傾斜性を示した。共振周波数と軽量性については低密度であるほど優れており、減衰比については 7×10^{-6} の差にとどまった。これらの解析結果から、樹脂ボール配合割合を大きくし均一な軸芯構造を採用した。

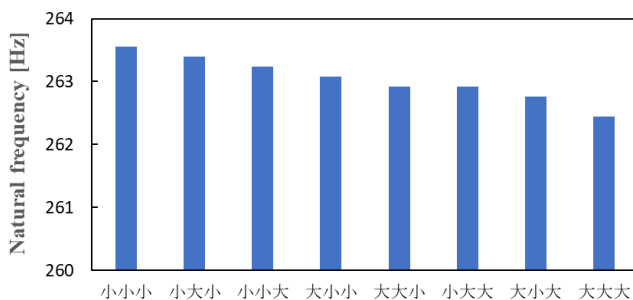


Fig. 2 Natural frequency and graded characteristics

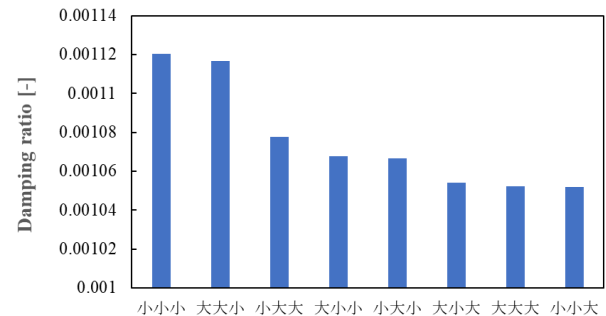


Fig. 3 Damping ratio and graded characteristics

$$\begin{Bmatrix} x \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} h & l \\ n & p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f \\ m \end{Bmatrix} \quad (1)$$

3. 実験結果および考察

中空ボールねじに樹脂ボール配合割合 12%の提案材料を挿入し製作した。これと中実ボールねじそれぞれに対し質量測定とハンマリング試験を行い (Fig. 4)、その結果共振周波数は 5%向上、減衰比は 25%向上と数値解析での推定より大幅に改善し、質量は 22%減少した (Table 1)。共振周波数の増加については、低密度材料を適用したことにより $f = 1/2\pi\sqrt{mk}$ における分母が小さくなったことが要因として考えられる。また、減衰比は部材間の接続部に大きく依存する[2]ことから、外側の鋼部分と軸心構造部分との間に大きな摩擦が生じエネルギーを消費したことで、減衰比が増加したと推察される。



Fig. 4 Hammering test of ball screw

Table 1 Dynamic characteristics and mass of ball screw

軸心構造	共振周波数 [Hz]	減衰比 [-]	質量 [kg]
鋼	186	0.00676	17.5
提案構造	196	0.00849	15.4

4. 結論

ボールねじの軸心構造材料に樹脂ボール配合 PC 材を適用することで、共振周波数は 5%の向上、共振周波数は 25%の向上、22%の軽量化を実現し、高動剛性と軽量性の観点からボールねじの性能向上に有効な手段であることが確かめられた。

参考文献

- [1] 宮口和男, “ボールねじ送り駆動機構の高速化と高精度化に関する研究”. pp. 80-97, 2004.
- [2] Tony L.Schmitz, K.Scott Smith, “Mechanical Vibrations,” 2012.